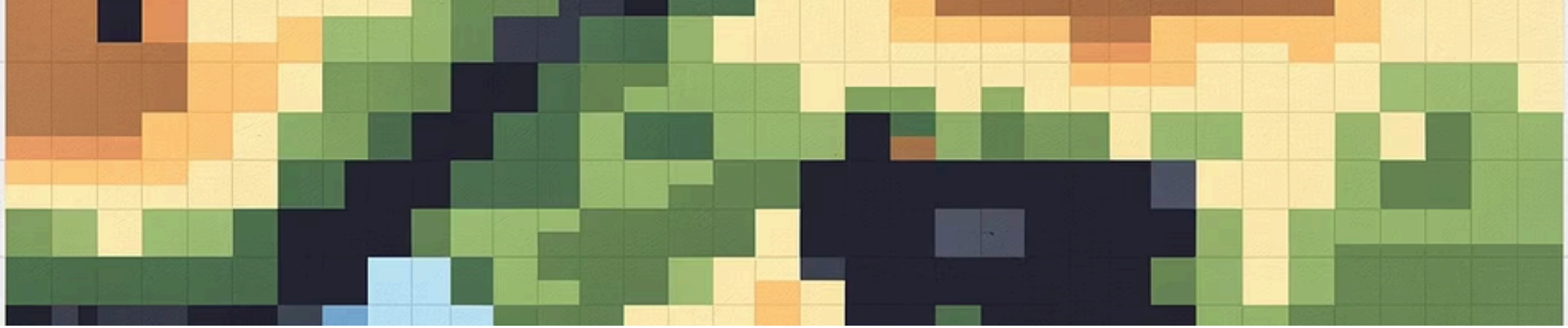


Fakulta stavební ČVUT v Praze | Katedra geomatiky

Přednáška 6: Rastrové analýzy, mapová algebra a detekce změn

Georeferencování, resamplování, Tomlinova mapová algebra, filtrace a multikritériální hodnocení

1	2	3
Georeferencování	**Mapová algebra**	**Detekce změn**

prof. Ing. Jiří Cajthaml, Ph.D., 2026

Cíle přednášky a tematické okruhy

Ovládnout rastrové analýzy v GIS, pochopit Tomlinovu mapovou algebru, zvládnout georeferencování archivních podkladů a detekci změn v území.

Blok 1

Georeferencování (GCP, RMSE), afinní a projektivní transformace, resamplování, Tomlinova mapová algebra.

Blok 2

Lokální, fokální, zonální a globální funkce, detekce změn, rastrový MCA a frikční povrchy.

Georeferencování: připojení souřadnic k rastru

Přiřazení souřadnic (např. S-JTSK) naskenovaným mapám, výkresům a neorientovaným snímkům.

1

Sken

Pixel [r, c]

2

Identické body (GCP)

Identické body na mapě i v referenční vrstvě

3

Referenční vrstva

Souřadnice [X, Y]

GCP: trigonometrické body, rohy budov, křižovatky.



Identické body a střední kvadratická chyba RMSE

RMSE je míra polohové odchylky transformovaných GCP od reálných souřadnic.

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}((\Delta x_i)^2 + (\Delta y_i)^2)}$$

Afinní transformace

Min. 3 body, doporučeno 6–10 rovnoměrně rozmístěných.

Pravidlo přesnosti

RMSE nepřekročí 1 až 2 pixely rastru u kvalitních mapových podkladů.

Matematické transformace při georeferencování

Afinní (1. řád)

Min. 3 GCP; posun, měřítko, rotace, zkosení. Zachovává rovnoběžnost.

Projektivní

Min. 4 GCP; narovnání leteckých snímků s centrální projekcí, lze využít na 4 rohy mapových listů.

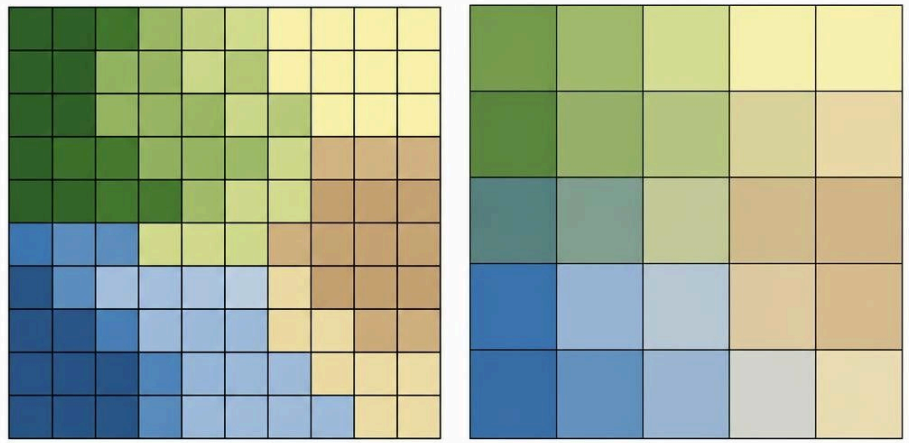
Polynomy 2./3. řádu

6–10 GCP; korekce deformace starého papíru. Pozor na úlety na okrajích.

Metody převzorkování (resamplování)

Po transformaci nevycházejí středy nových buněk do středů původních pixelů. Hodnotu je nutné dopočítat.

Metoda	Výpočet	Vlastnosti a použití
Nearest Neighbor	Nejbližší pixel	Nezavádí nové hodnoty; jediná volba pro kategoriální a tematické rastry.
Bilinear	Vážený průměr ze 4 buněk	Vyhlazuje; vhodná pro DEM.
Cubic Convolution	Vážený průměr z 16 buněk	Vyhlazuje; výpočetně náročnější.



Tomlinova mapová algebra

Dr. C. Dana Tomlin (1990): rámec pro matematické zpracování rastrových dat.

Rastr_Výsledek = f(Rastr_A, Rastr_B, ...)

Jazyk operací nad celoplošnými rastry: matematické, logické a trigonometrické funkce.

Podmínka: shodné rozlišení (GSD) a lícování buněk.

Čtyři kategorie rastrových funkcí

Lokální

Buňka na téže pozici ve vstupech.

Fokální

Okolí buňky, např. 3×3.

Zonální

Buňky ve stejné zóně jiné vrstvy.

Globální

Všechny buňky rastru.

Lokální funkce: aritmetika a logika

Operace probíhá nezávisle pro každý pixel napříč vrstvami.

Aritmetika

Součet, rozdíl, násobení, podíl rastrů.

Mocnost odkopu/násypu:

ΔH = DEM_po – DEM_před

Logika

Operátory >, <, =, AND, OR, NOT vytvoří binární masku.

1 = splňuje, 0 = nesplňuje

Podmínky Con a reklasifikace

Con

IF...THEN...ELSE nad každým pixelem.

Con(Rastr_A > 10, 1, 0)

Reclassify

Převod spojitých hodnot do diskrétních kategorií.

0–5°

Ideální (1)

5–15°

Podmíněně vhodné (2)

>15°

Nevhodné (3)

Fokální funkce: plovoucí okno

Nová hodnota buňky vzniká z hodnot v jejím okolí (neighborhood).

1

Okno

3×3, 5×5 nebo kruhové; prochází rastr pixel po pixelu.

2

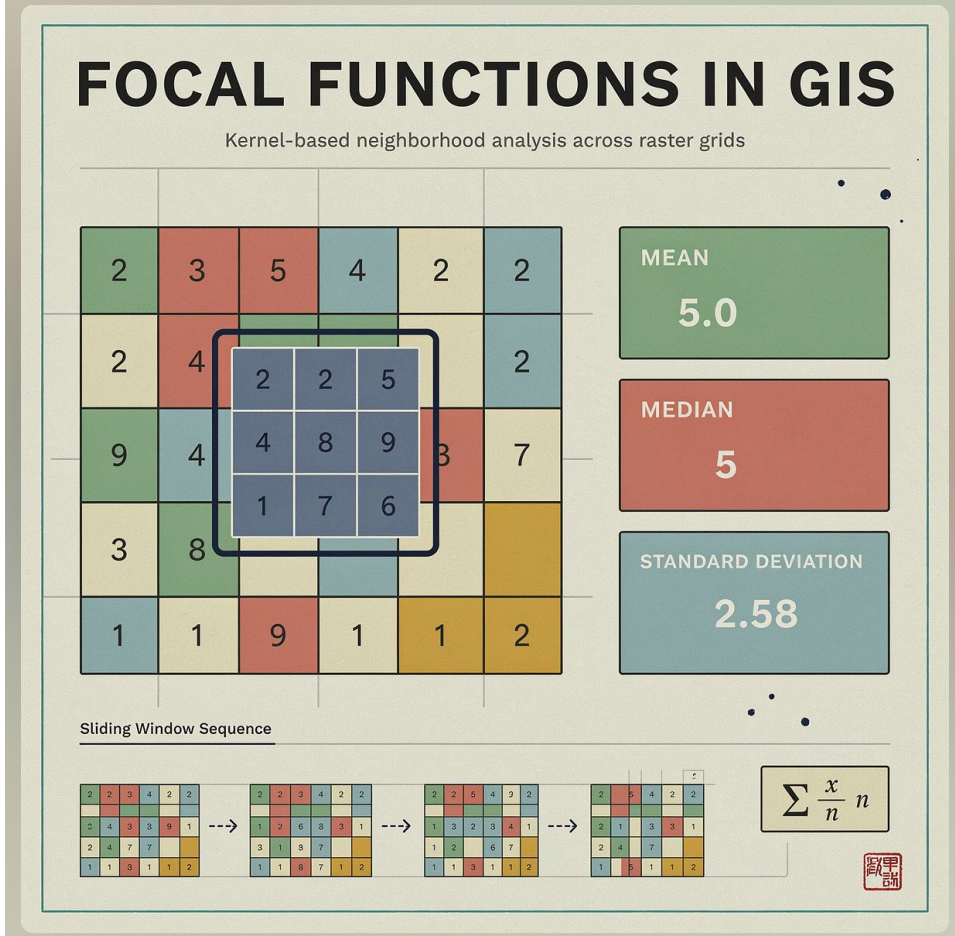
Statistika

Průměr, medián, minimum/maximum, směrodatná odchylka.

3

Využití

Vyhlazení šumu, hrany terénu, variabilita terénu.



Fokální filtrace: vyhlazení a detekce hran

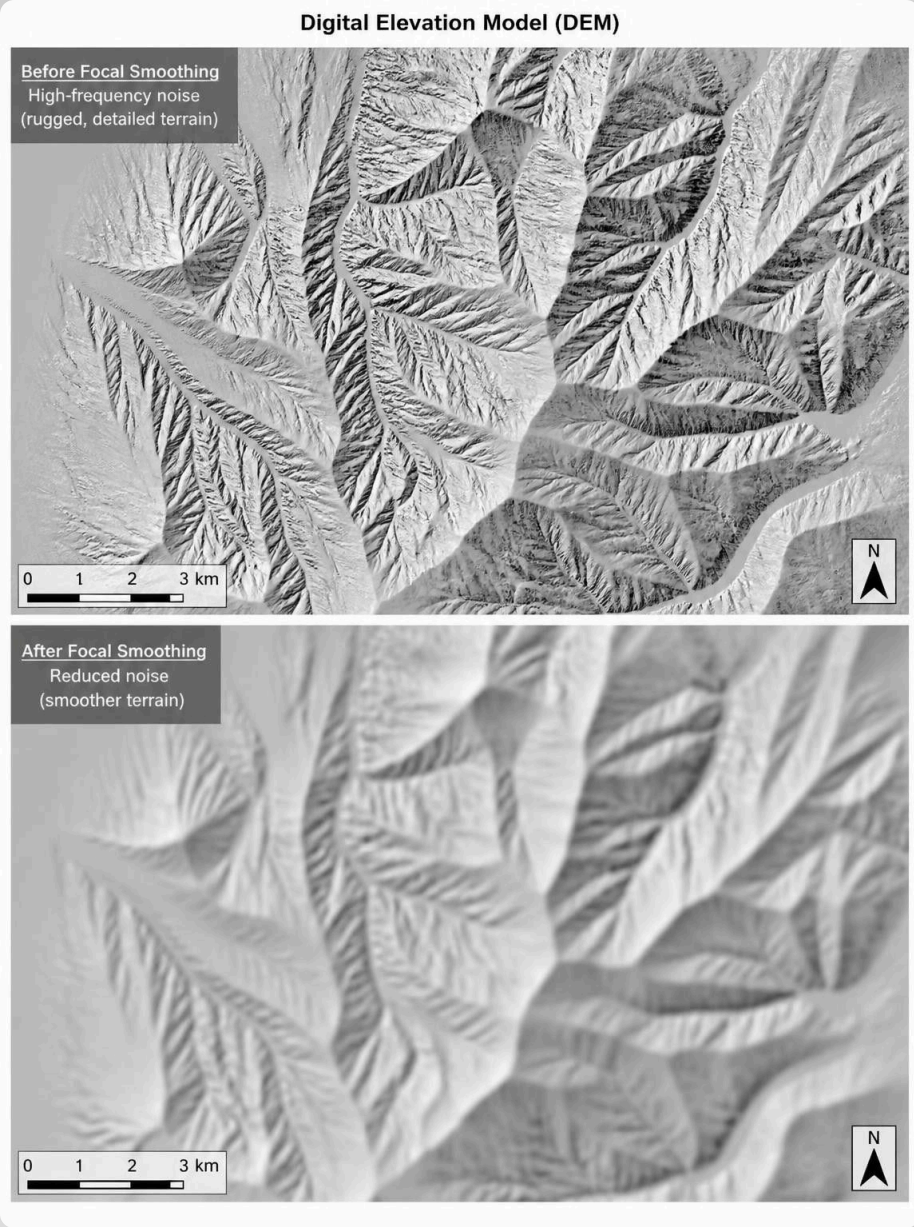
Low-pass

Průměr nebo medián v okně 3×3 odstraní šum z laserového skenování.

High-pass

Zvýrazní prudké změny hodnot; Sobelův operátor, Laplacián.

Detekce hran terénu, opěrných zdí, koryt toků a lomů.



Zonální funkce: Zonal Statistics

Statistiky vstupního rastru pro buňky vymezené zónami druhé vrstvy.

1

Zóna

Buňky se stejným kódem: katastrální území, povodí, chráněná území.

2

Statistika

Zonal Sum, Mean, Min/Max, Variety.

3

Výstup

Nový rastr nebo atributová tabulka zón.

Zonální statistiky v inženýrské praxi

Hydrologie

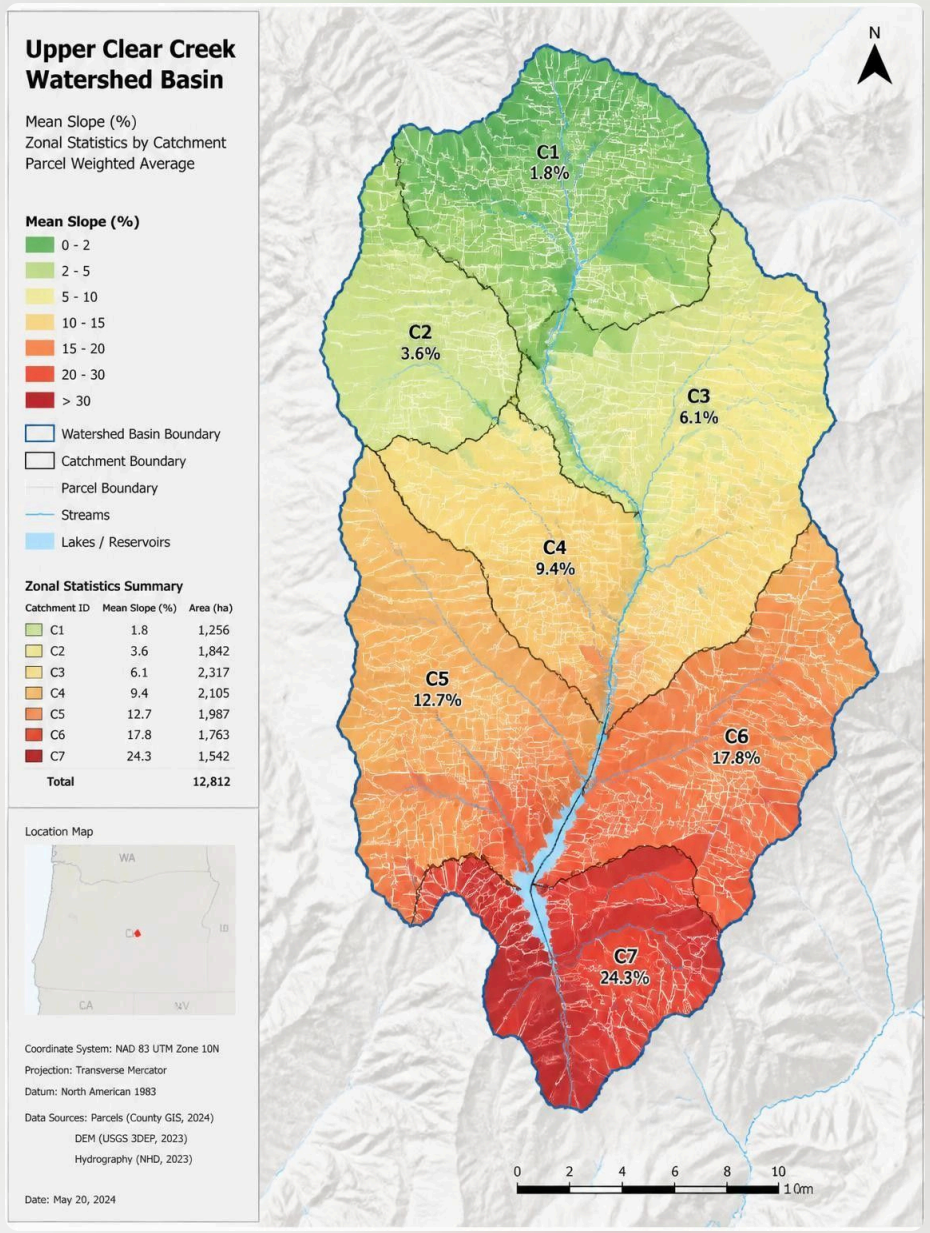
Průměrné srážky a sklon pro dílčí povodí.

Urbanismus a stavebnictví

Průměrná výška a maximální sklon na parcelách.

Lesnictví a ŽP

Zásoba dřevní hmoty (Zonal Sum) v porostních skupinách.



Globální funkce: Eukleidovské vzdálenosti

Výpočet vyžaduje polohu a hodnoty všech buněk rastru.

Euclidean Distance

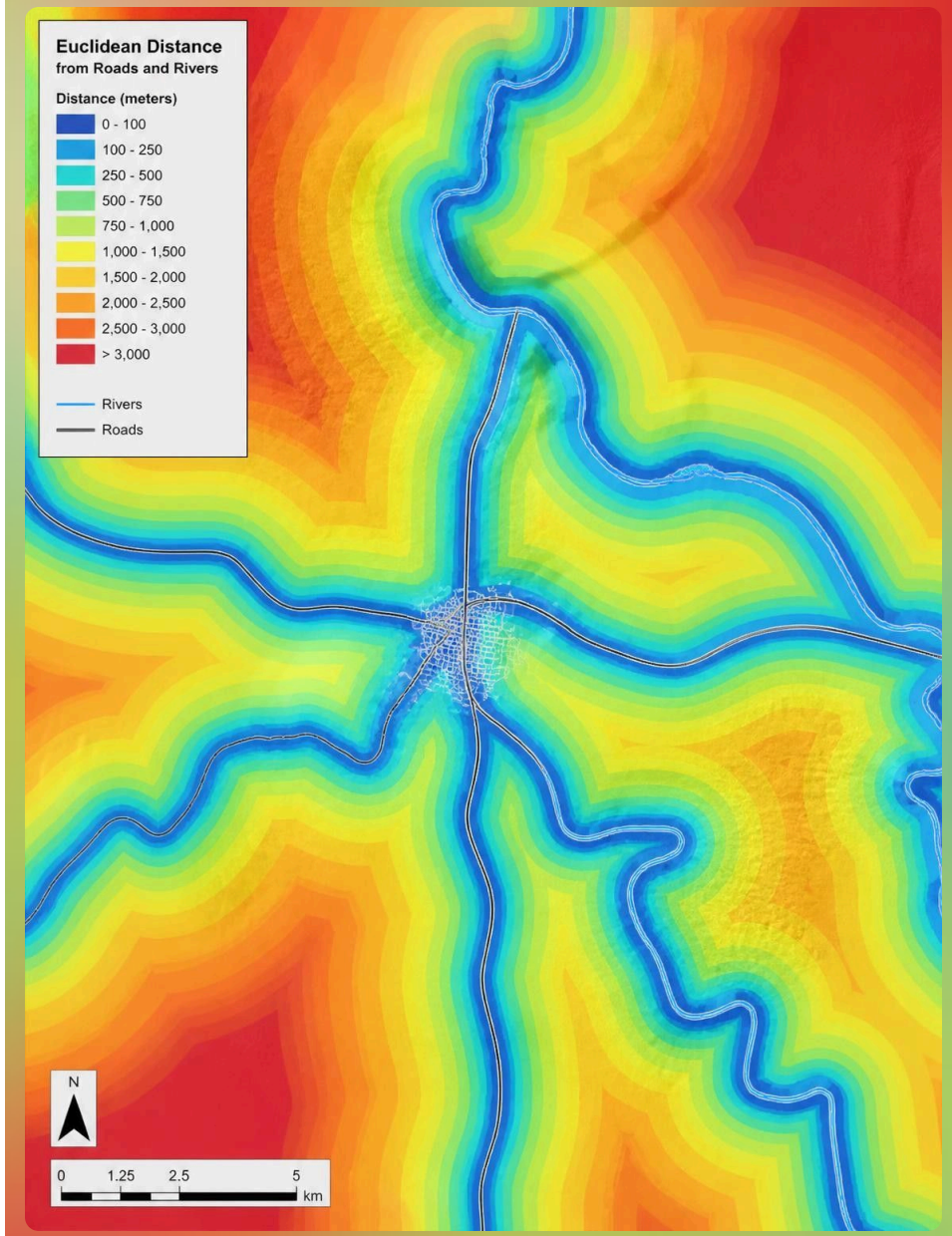
Vzdálenost každého pixelu k nejbližšímu zdroji (silnice, tok).

Spojitý rastr v metrech.

Euclidean Allocation

Identifikátor nejbližšího zdroje.

Rastrové Thiessenovy polygony.



Detekce změn v čase

Rozdíly ve stavu jevu nebo povrchu mezi obdobími T1 a T2.

01

Příprava

Identický souřadnicový systém a přesné lícování rastrů.

02

Lokální odečtení

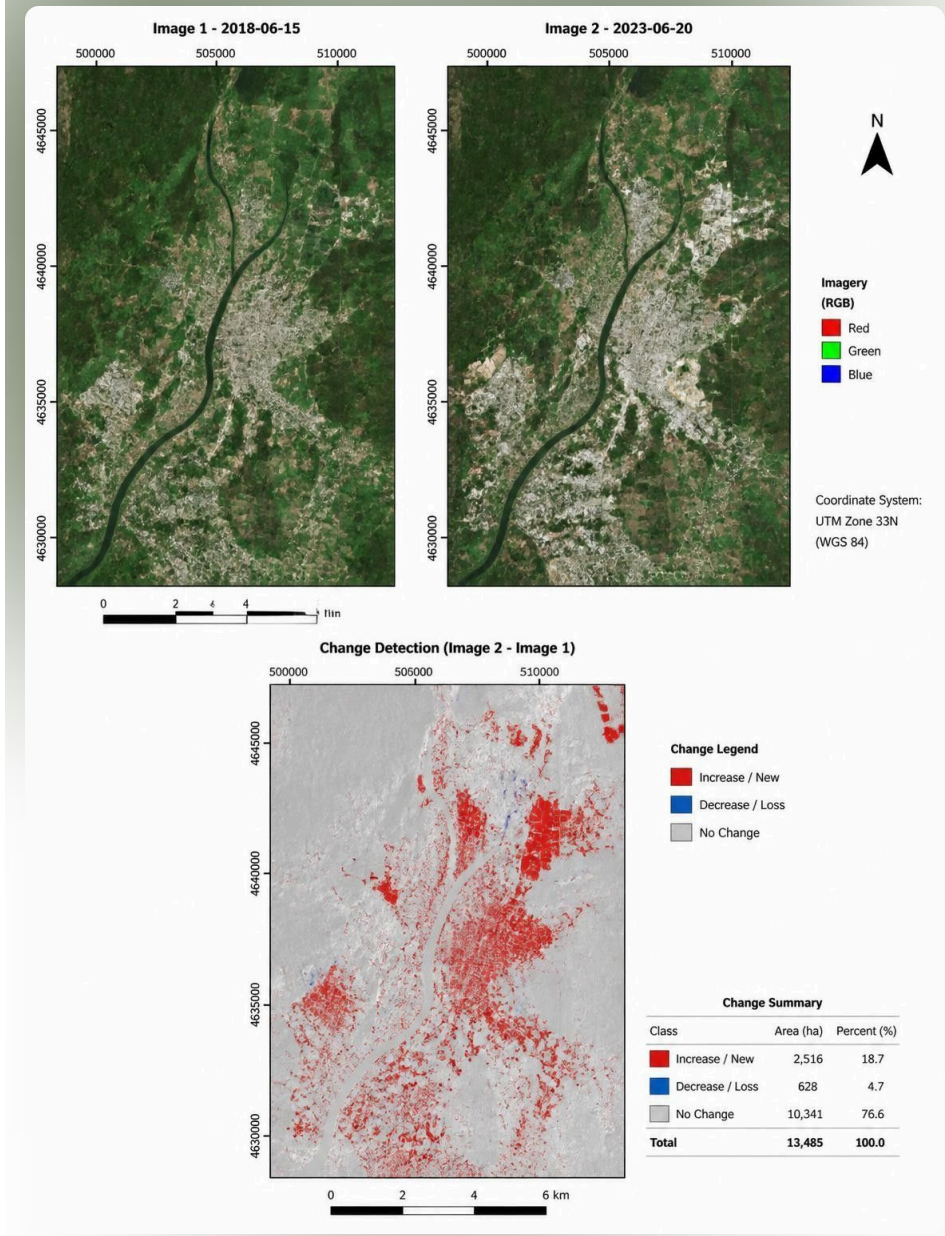
ΔRastr = Rastr_T2 − Rastr_T1

03

Reklasifikace

Úbytek / Bez změny / Přírůstek

Využití v 4D GIS: postup výstavby, odlesňování, objem sesuvů.



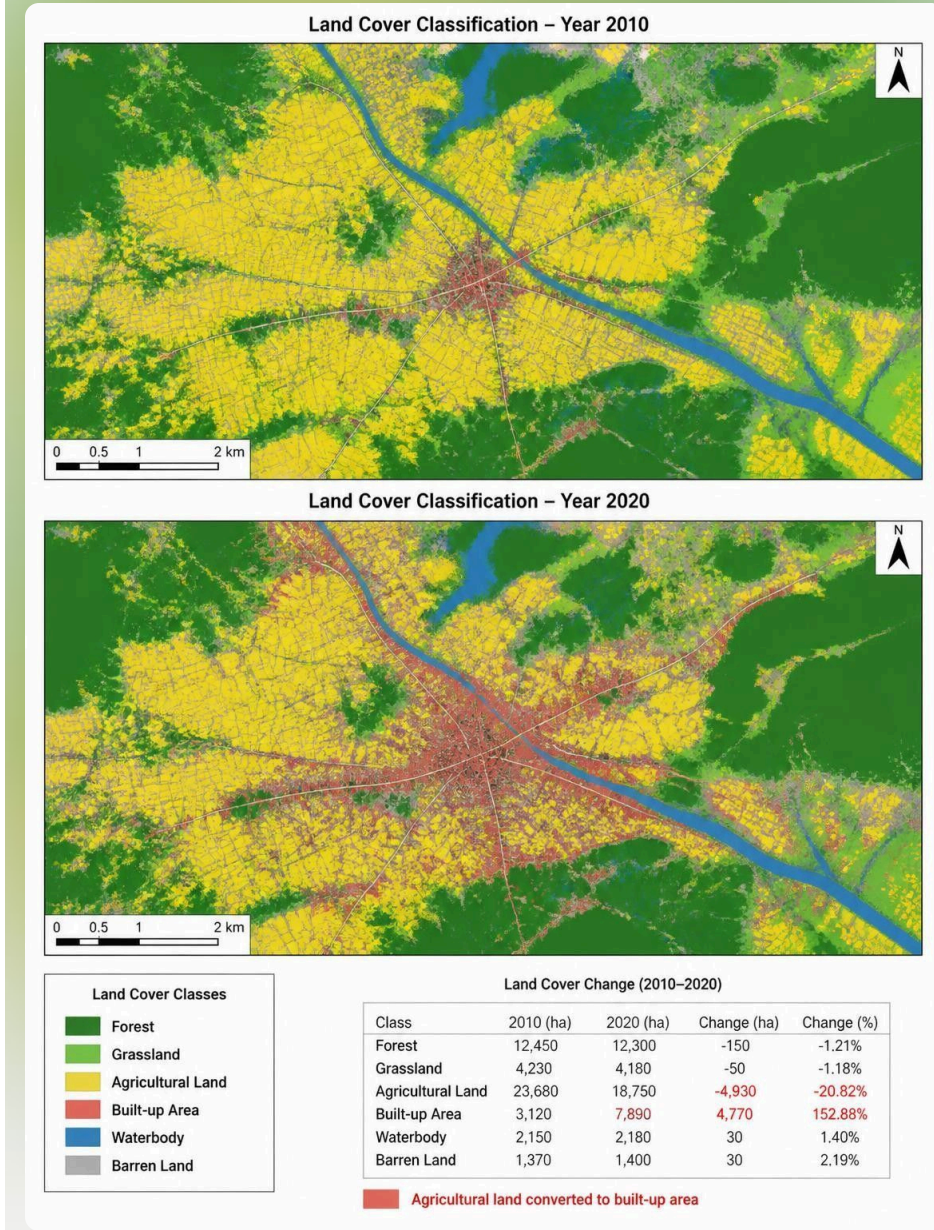
Monitoring odlesňování a záboru ZPF z DPZ

Porovnání klasifikovaných rastrů land cover z různých let.

1. **Orná půda**
2. **Změněné buňky**

   Zábor půdy
3. **Zastavěná plocha**

Zábor v hektarech = počet změněných buněk × GSD²



Multikritériální hodnocení území (rastrový MCA)

Celková vhodnost území kombinací více rastrových faktorů.

01

Příprava faktorů

Sklon, vzdálenost od silnice, využití půdy.

02

Standardizace

Jednotná stupnice: 1 nevhodné až 10 vysoce vhodné.

03

Váhy faktorů

w_i, $\Sigma w_i = 1{,}0$

04

Vážený součet

Weighted Overlay

Vážený součet rastrů (Weighted Overlay)

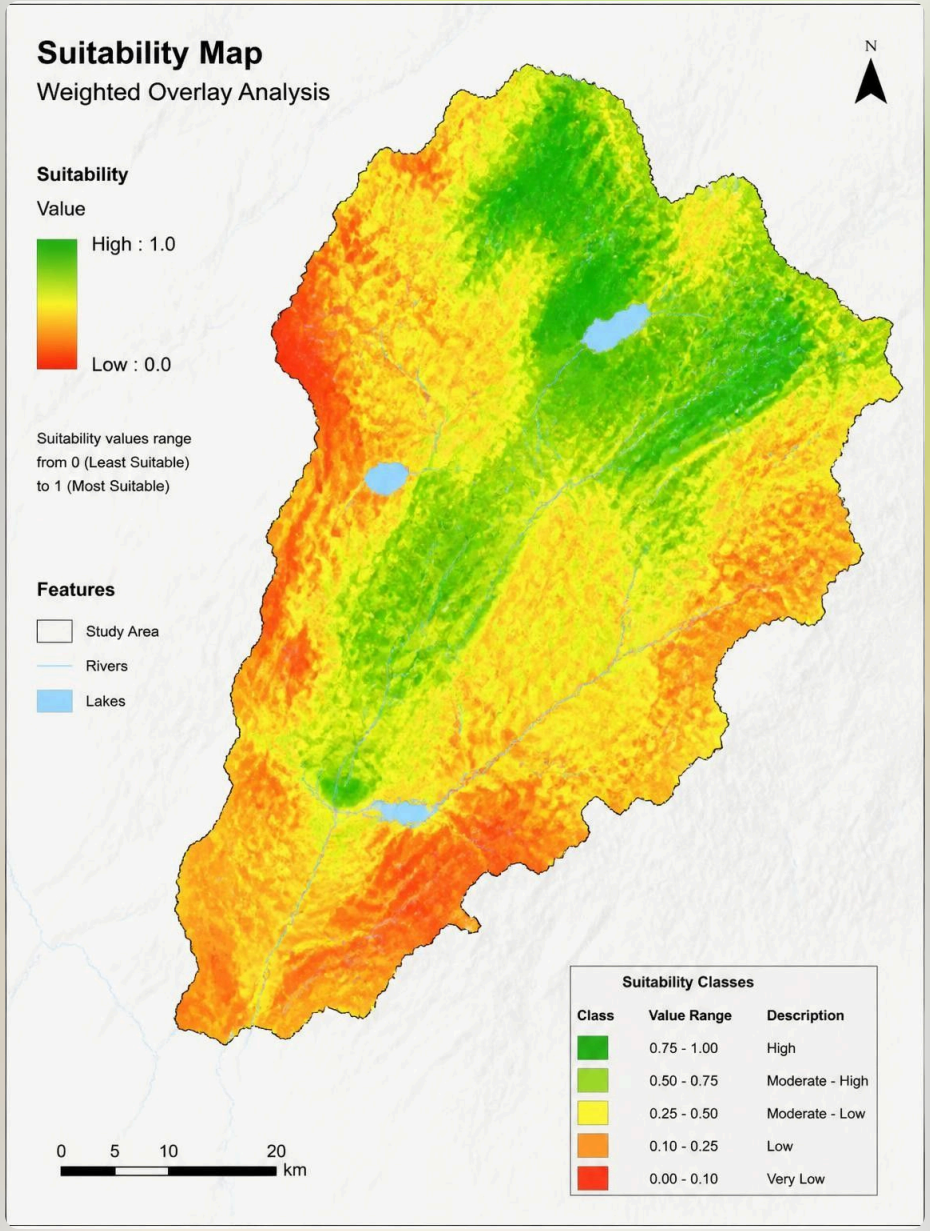
Rastr_Vhodnosti = Σ (Standardizovaný_Rastr_i × w_i) × Mask_Vyloučení

Mask_Vyloučení

Binární maska vynuluje zákaz výstavby, např. záplavová zóna Q100, národní park.

Výstup

Spojitý index vhodnosti jako podklad pro investory a projektanty.



Nákladový povrch a frikční matice

Hodnota buňky = jednotkové náklady (cena, čas, úsilí) na překonání pixelu.

1

Faktory

Sklon terénu, typ podloží (skála = odstřel), druh pozemku a cena výkupu.

2

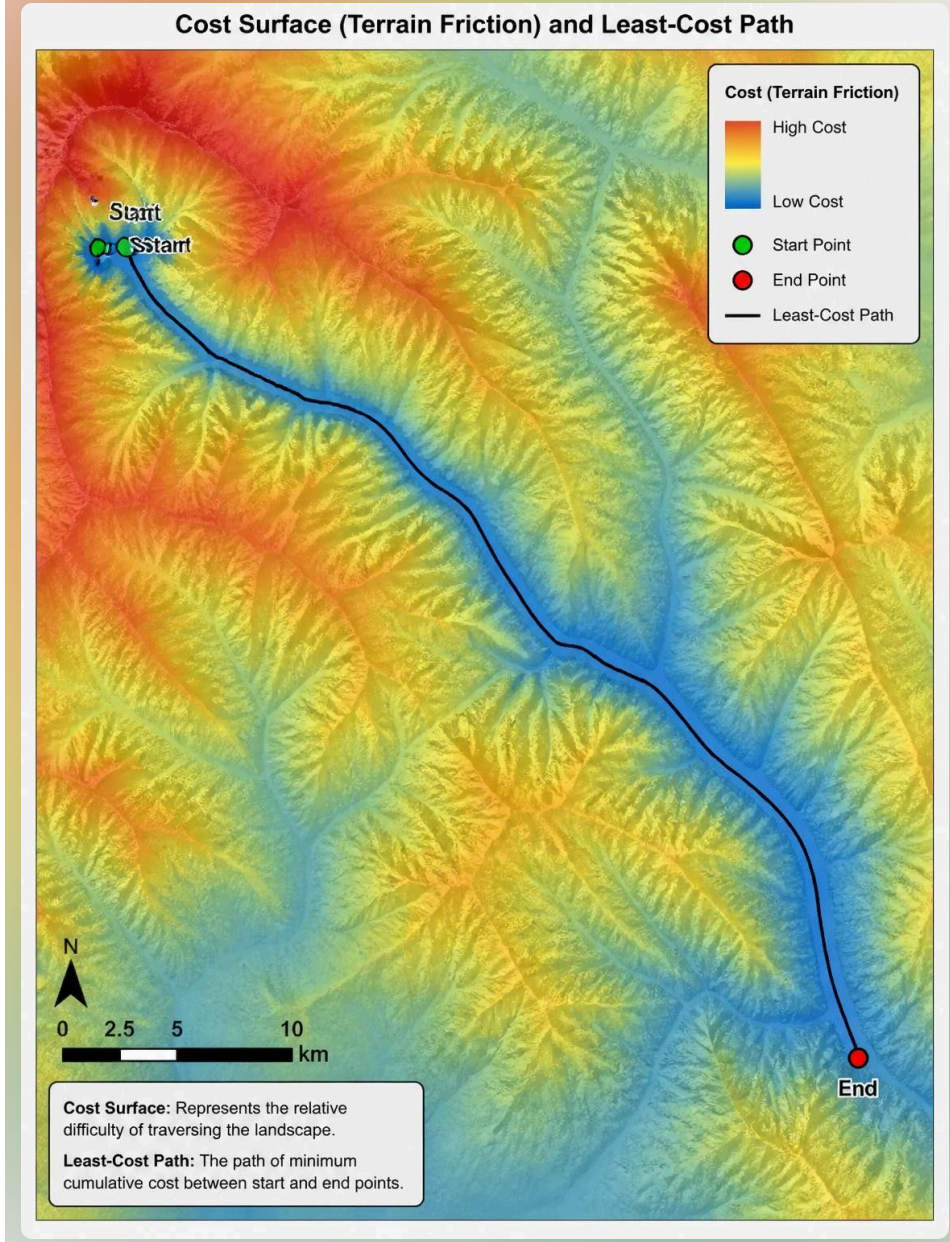
Nákladový povrch

Frikční matice

3

Least-Cost Path

Nejvýhodnější trasa liniových staveb.



Více-pásmové rastry a multispektrální snímky

Multiband raster: více matic (pásem) téhož území v různých vlnových délkách.

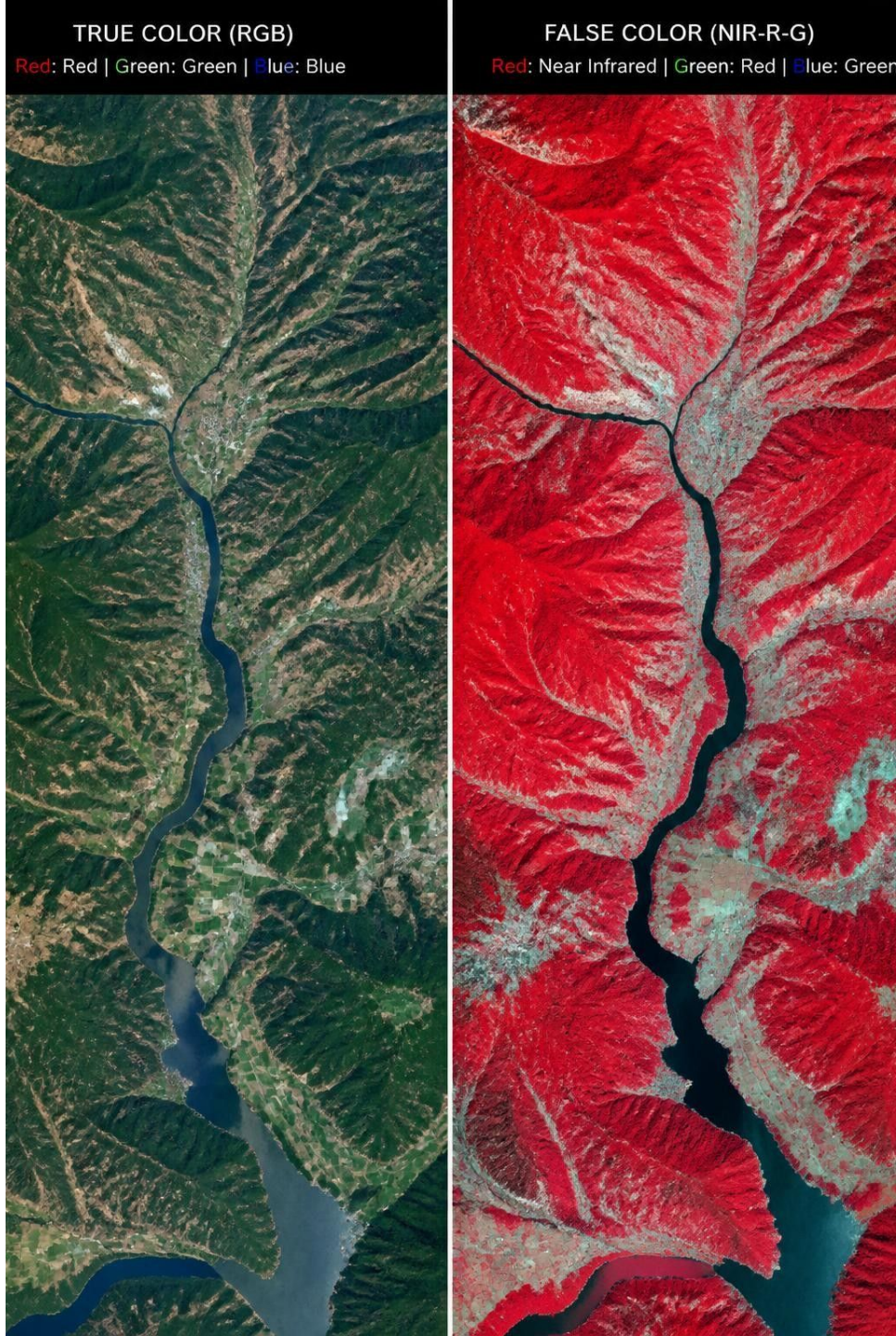
Sentinel-2: 13 pásem (RGB, blízké infračervené NIR, krátkovlnné infračervené SWIR).

True Color

Přirozený pohled oka.

False Color (NIR-R-G)

Zdravá vegetace září červeně.



Spektrální index NDVI

NDVI = (NIR − RED) / (NIR + RED)

Rozsah −1,0 až +1,0. Zdravá vegetace pohlcuje červené světlo a silně odráží NIR.

< 0

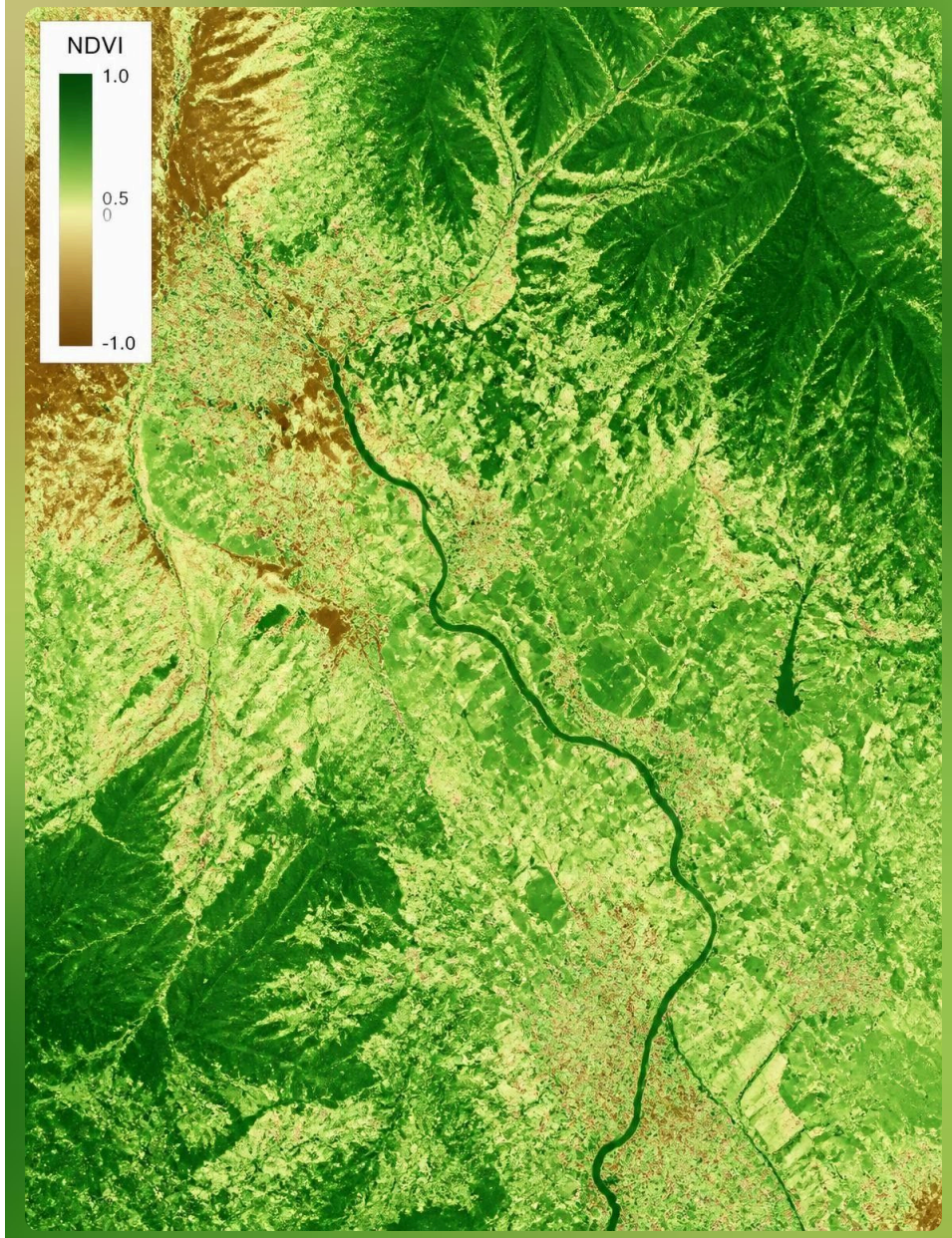
Voda, sníh

0,1–0,2

Holá půda, zástavba

0,6–0,9

Hustá vegetace, les



Aplikace: erozní ohrožení půdy (USLE)

E = R × K × L × S × C × P

R

Dešťový faktor

K

Erodovatelnost půdy z geologických map

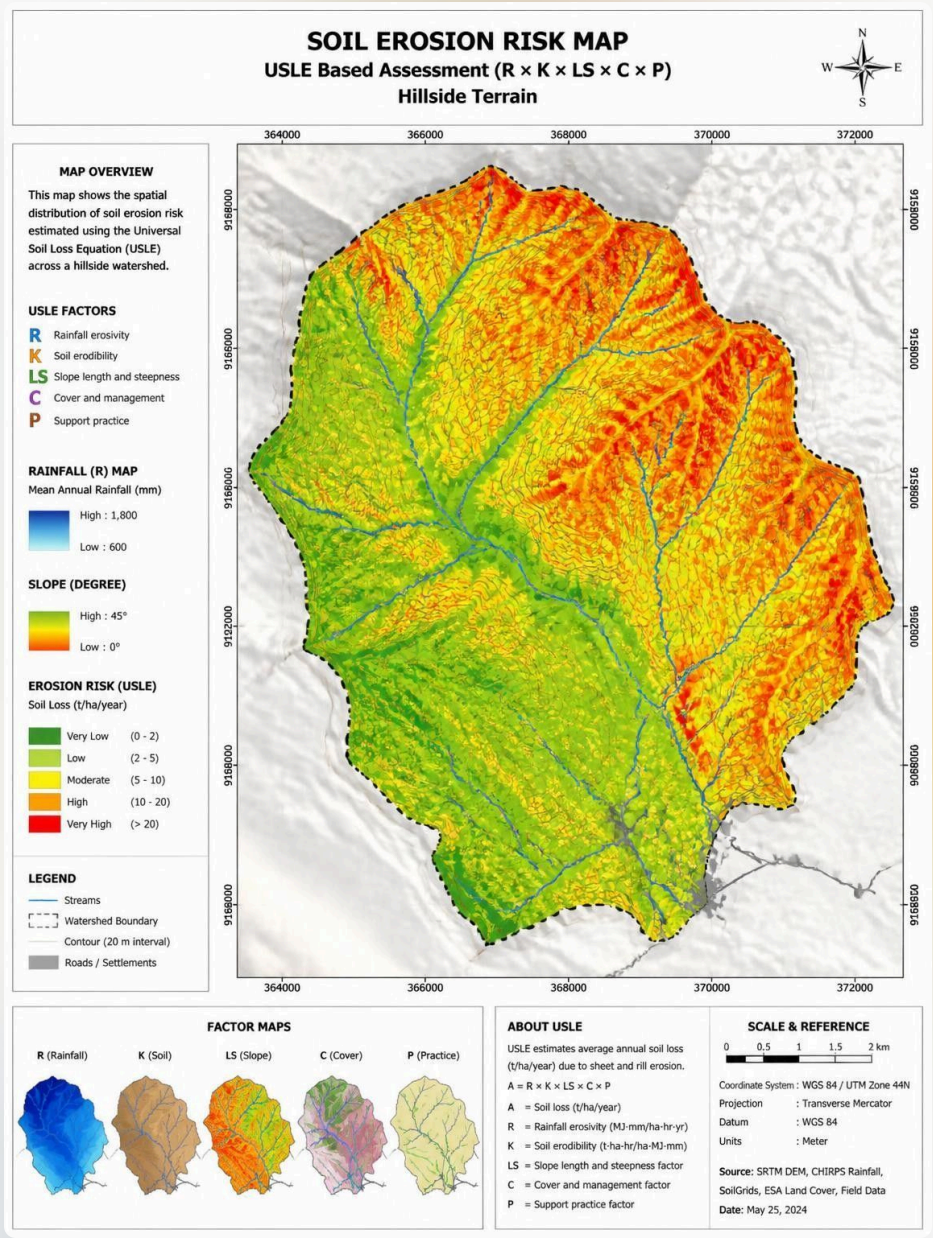
LS

Délka a sklon svahu z DEM

C

Vegetační kryt z NDVI nebo land use

Výsledek: průměrná roční ztráta půdy v t/ha/rok.



Automatizace rastrových výpočtů v GIS

Raster Calculator (ArcGIS / QGIS)

Zápis výrazů mapové algebry.

Skriptování v Pythonu

GDAL, Rasterio, ArcPy: tisíce snímků nebo dlaždic DEM.

GDAL

Open-source standard pro čtení, zápis a transformaci rastrů.

Limity a úskalí rastrových analýz

GSD bias

Hrubé rozlišení zkresluje výměry malých objektů.

MAUP

Zonální statistiky závisí na tvaru a velikosti zón.

Okrajový efekt

Chybějící sousední buňky na okraji rastru.

Datová náročnost

GSD < 0,1 m vyžaduje velkou paměť RAM a výkon.

Shrnutí a klíčové pojmy ke zkoušce

- Georeferencování převádí [r,c] na [X,Y] přes GCP a RMSE.
- Nearest Neighbor je povinný pro tematické rastry.
- Mapová algebra: lokální, fokální, zonální, globální funkce.
- Diferenční rastr T2 – T1 detekuje změny.
- Rastrový MCA: vážený součet a frikční povrchy.

Studijní literatura a zdroje

TOMLIN, C. D. (1990)

Geographic Information Systems and Cartographic Modeling. Prentice Hall.

GDAL Documentation: gdal.org

QGIS Raster Analysis Guide: docs.qgis.org

Esri ArcGIS Spatial Analyst Reference: pro.arcgis.com